



汽车雷达76-81GHz频谱需求研究报告 (征求意见稿)

车载信息服务产业应用联盟

2025年12月24日

参编单位

发布单位: xxxx

参与单位: xxxx

TIARA

目录

1. 背景及概述	1
2. 汽车雷达频谱划分现状	2
2.1. 国际上汽车雷达频率划分、使用情况	2
2.1.1. 国际电信联盟（ITU）	2
2.1.2. 欧洲	2
2.1.3. 美国	3
2.1.4. 日本	3
2.1.5. 韩国	4
2.1.6. 印度	4
2.2. 中国汽车雷达频谱目前划分、规划、使用情况	4
2.2.1. 我国汽车雷达频谱划分、使用情况	4
2.2.2. 79–81GHz现有业务使用情况	6
2.3. 小结	7
3. 76–81GHz频谱行业需求分析	8
3.1. 当前76–79GHz车载业务的局限性	8
3.2. 76–81GHz频谱收益分析	9
3.2.1. 提升感知性能，满足高阶自动驾驶需求	9
3.2.2. 有效缓解雷达间干扰问题	11
3.2.3. 便于开拓海外市场	12
3.3. 小结	14
4. 76–81GHz产业现状及技术成熟度	14
4.1. 汽车雷达芯片	14
4.2. 波导天线	15
4.3. 大带宽雷达产品	16
4.4. 小结	18
5. 总结及建议	19

1. 背景及概述

随着智能网联汽车产业的快速发展，组合辅助驾驶系统及智能驾驶系统对安全性能的要求不断提高，相比可见光波段的摄像头和红外波段的激光雷达，毫米波雷达凭借不受雨雪雾尘等恶劣天气影响、穿透能力强、可直接获取目标速度信息、更低的部署成本等核心优势，已经成为智能网联汽车感知系统中不可或缺的传感器。

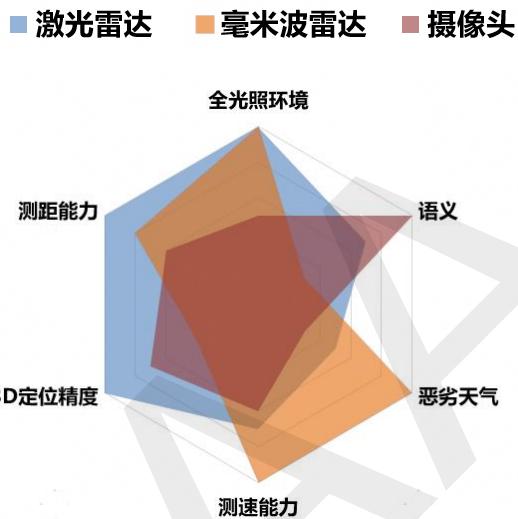


图 1 不同传感器的感知能力对比

近年来，国家持续强化智能网联汽车安全性的要求，伴随设计运行条件的持续拓展、道路交通场景的日趋复杂，以及小目标检测等核心需求的不断增加，行业对毫米波雷达的检测结果的置信度及分辨率也提出了更为严格的要求。对于毫米波雷达，距离分辨率和测距精度强依赖于雷达发射信号带宽。根据雷达分辨率的原理公式 $\rho_r = \frac{c}{2B_r}$ （其中c为光速， B_r 为雷达信号带宽），雷达信号带宽越大，分辨率越高；同时根据雷达的测距精度 $\sigma_r = \frac{c}{3.6B_r\sqrt{2SNR}}$ ，雷达信号带宽 B_r 和信噪比越大，测距精度也更高。因此为了进一步提高毫米波雷达的分辨率和测量精度，提高雷达信号带宽是一种直接且有效的途径。

本研究报告主要聚焦于车载毫米波雷达频谱需求研究，首先总结了国内外汽车雷达频谱分配现状，其次分析了当前国内76-79GHz频谱使用中存在的问题以及将毫米波雷达频率进一步拓宽到76-81GHz对智能网联汽车带来的收益，最

后调研分析了国内外76-81GHz雷达产业链现状及技术成熟度，为汽车毫米波雷达频谱研究及开放提供支撑。

2. 汽车雷达频谱划分现状

2.1. 国际上汽车雷达频率划分、使用情况

2.1.1. 国际电信联盟（ITU）

2015年之前，车载雷达尚没有全球统一的频率划分，各汽车制造大国的车载雷达所使用的频率主要集中在24GHz、76GHz、79GHz、以及60GHz频段。77.5-78GHz频段并没有被分配给无线电定位业务，工作在77-81GHz的汽车雷达仅被视为某种设备，属于次要业务，须接受来自其他业务的干扰并且不能对其他业务造成干扰。2015年世界无线电通信大会（WRC-15）作出决议，将77.5-78.0GHz频段划分给无线电定位业务，至此76-81GHz频段被全球统一划分为无线电定位业务，且76-81GHz之间的汽车雷达被定义为主要业务，成为全球协调一致的使用频段。

2019年世界无线电通信大会（WRC-19）将24.25-27.5GHz频段划分为全球协调一致的5G毫米波使用频率，世界很多国家已逐步引导汽车雷达的使用频段从24GHz向更高的77GHz频段迁移。目前，欧盟、美国、智利、俄罗斯、白俄罗斯、新加坡、越南、马来西亚、日本、中国香港等国家和地区已将76-81GHz频段划分给汽车雷达定位业务。

2.1.2. 欧洲

欧洲电信标准化协会（ETSI）规划了多个频段，包括24.05-24.25GHz用于窄带汽车雷达，24.05-24.5GHz用于宽带低激活模式雷达，76-77GHz用于地面车载雷达、固定基础设施雷达、铁路/道路交叉路口障碍物检测系统雷达等，77-81GHz用于短距交通运输雷达设备。

根据欧盟无线电指令2014/53/EU（RED）和ETSI EN 302 264的要求，76-77GHz频段雷达的峰值功率需 $\leq 55\text{dBm}$ ，平均功率密度 $\leq 3\text{dBm/MHz}$ ，占空比不超过56%。ETSI针对工作在76 GHz至77 GHz频段的地面车载雷达设备制定了标准EN 301 091-1，主要用于为汽车雷达提供统一的性能标准和测试方法，以支

持其符合欧盟的无线电设备指令。

根据欧盟2004/545/EC指令“关于协调79 GHz频段无线电频谱用于汽车短程雷达设备的决定”，79GHz频段被指定专用于汽车短程雷达设备，其中79GHz无线电频谱是指77-81 GHz频段，指令要求最迟在2005年7月1日之前，各成员国必须使该频段可用于汽车短程雷达业务，包括盲点检测、变道辅助、泊车辅助、防撞预警等应用，以提高道路安全和交通效率。根据欧盟无线电指令2014/53/EU (RED) 和ETSI EN 302 264的要求，77-81GHz频段雷达的峰值功率≤55dBm，最大平均功率密度≤-3dBm/MHz。

2.1.3. 美国

根据美国联邦通信委员会 (FCC) 第 15 部分、FCC 第 95 部分 (子部分 M)，汽车雷达可使用 76 - 81GHz 频段，适用于车载雷达等汽车用例，具体要求为：

- 76-81GHz雷达可用于汽车雷达，也可以作为机场雷达，包括但不限于FOD探测雷达和仅供地面使用的机载雷达。
- 76-81GHz频段最大功率为50dBm，最大峰值功率为55dBm。



The screenshot shows the CFR website for Title 47, Chapter I, Subchapter D, Part 95, Subpart M. The main title is 'Code of Federal Regulations' with a subtitle 'A point in time eCFR system'. The subpart title is 'Subpart M—The 76-81 GHz Band Radar Service'. The text on the page discusses the permissible uses of the 76-81 GHz band for radar services, mentioning 'vehicular radars' and 'radars in airport air operations areas, including but not limited to FOD detection radars and aircraft-mounted radars for ground use only'.

§ 95.3331 Permissible 76-81 GHz Band Radar Service uses.

Radar systems operating in the 76-81 GHz band may operate as vehicular radars or as fixed or mobile radars in airport air operations areas, including but not limited to FOD detection radars and aircraft-mounted radars for ground use only.

§ 95.3367 76-81 GHz Band Radar Service radiated power limits.

(a) The fundamental radiated emission limits within the 76-81 GHz band are expressed in terms of Equivalent Isotropically Radiated Power (EIRP) and are as follows:

(1) The maximum power (EIRP) within the 76-81 GHz band shall not exceed 50 dBm based on measurements employing a power averaging detector with a 1 MHz Resolution Bandwidth (RBW).

(2) The maximum peak power (EIRP) within the 76-81 GHz band shall not exceed 55 dBm based on measurements employing a peak detector with a 1 MHz RBW.

图 2 美国FCC关于汽车雷达频谱的法规

2.1.4. 日本

日本早期采用的车载雷达主要集中在60-61GHz，这个频段是日本国内独有

的规定，主要用于短距离雷达。为了实现全球供应链和技术的统一，日本汽车产业也在积极向全球标准靠拢。日本总务省颁布的《无线电法》和《无线电法规》正式将76-77 GHz频段分配给了车载雷达系统，2005年起正式生效。2015年日本总务省（MIC）修订了《无线电法施行规则》，首次批准将76-81 GHz频段用于汽车雷达。2022年日本总务省进一步明确了频谱使用规划，规定自2022年11月27日起，停止批准新的使用24GHz频段（24.25-26.65 GHz）的汽车雷达设备。

2.1.5. 韩国

韩国通信委员会（KCC）遵循2015年世界无线电通信大会（WRC - 15）的决议，将76 - 81GHz频段划分为汽车雷达全球协调一致的使用频段。韩国《无线电资源频率分配表》中，76-81 GHz频段明确划分给“无线电定位业务”，并特别注明用于“汽车雷达系统”。76-81 GHz是韩国汽车雷达的当前和未来核心频段，用于所有高级驾驶辅助系统和自动驾驶功能。设备必须通过韩国国家无线电研究机构的认证，符合其技术标准。

2.1.6. 印度

印度已于2023年9月就开放77-81GHz用于汽车雷达进行了意见征询，印度电信监管局（TRAI）在2024年8月给出了支持开放的意见。

2.2. 中国汽车雷达频谱目前划分、规划、使用情况

2.2.1. 我国汽车雷达频谱划分、使用情况

2005年，原信息产业部发布《微功率短距离无线电设备技术要求》（信部无〔2005〕423号），将24-24.25GHz频段规划用于H类通用设备，可用于汽车雷达，将76-77GHz频段规划用于车辆测距雷达，并将其定义为免执照的微功率应用。

2012年，工业和信息化部发布《24GHz频段短距离车载雷达设备使用频率的通知》（工信部无〔2012〕548号），又将24.25-26.65GHz频段规划用于汽车雷达，使用上述频段的汽车雷达均按照微功率短距离无线电发射设备管理，无须办理频率使用和台站设置、使用许可，但需要取得无线电发射设备型号核准。

2019年，为贯彻落实新修订的《中华人民共和国无线电管理条例》，工业和信息化部发布第52号公告，对微功率短距离无线电发射设备目录和技术要求进行了调整，保留24-24.25GHz频段的H类通用设备（含汽车雷达应用），同时，将76-77GHz频段从目录中移除，不再将该频段的车辆测距雷达按微功率短距离无线电发射设备进行管理。

2021年11月16日，工业和信息化部发布了181号文《汽车雷达无线电管理暂行规定》，该《规定》于2022年3月1日正式实施，规划76-79GHz频段用于汽车雷达，主要使用场景包括自适应巡航控制、防撞、盲点探测、变道辅助、泊车辅助、后方车辆示警、行人探测等。除国家无线电管理机构另有规定外，该频段不能用于其他类型陆基雷达，也不能用于在航空器（含无人机、气球、飞艇等）上装载使用的雷达。生产或者进口在国内销售、使用的汽车雷达设备应当符合“汽车雷达的射频技术要求”（见表1），并向国家无线电管理机构申请无线电发射设备型号核准。同时明确了汽车雷达使用和干扰协调要求，即不得对同频段或相邻频段内依法开展的固定、移动、卫星固定、业余、射电天文等无线电业务或无线电台（站）产生有害干扰，并规定了不同射电天文台台址以及与汽车雷达之间的干扰保护距离。

表1 汽车雷达的射频技术要求

工作频率范围	峰值功率	平均功率	e.i.r.p 谱密度
76-77GHz	55dBm	50dBm	28dBm/MHz
77-79GHz	39dBm	34dBm	7dBm/MHz
76-79GHz	39dBm	34dBm	7dBm/MHz

注：e.i.r.p为等效全向辐射功率。

181号文规定自2022年3月1日起，国家无线电管理机构不再受理和审批24.25-26.65GHz频段车载雷达无线电发射设备型号核准申请。符合原规定且已投入使用的24.25-26.65GHz频段车载雷达设备，以及在2019年第52号公告实施前（2019年11月19日）已投入使用的76-77GHz频段车辆测距雷达设备，原则上可用到报废为止。

根据181号文，汽车雷达最多使用76-79GHz频段内3GHz带宽的频谱，与国

际普遍采用的76-81GHz频谱共5GHz可用带宽不同。当前国内79-81GHz未投入汽车雷达使用。

2.2.2. 79-81GHz 现有业务使用情况

2023年6月工业和信息化部发布62号文，公布新版《中华人民共和国无线电频率划分规定》。该规定中，79-81GHz的主要业务为无线电定位、射电天文业务，次要业务包括业余、卫星业余、空间研究（空对地）业务。规定中3.6 中国无线电频率划分脚注部分说明：“79-81GHz 频段无线电定位业务将优先用于汽车雷达等应用，相关兼容共存条件及协调程序确定前，不投入实际部署使用。(2023年)”。

2025年2月14日工信部印发《雷达无线电管理规定（试行）》的通知，正式划分交通路侧雷达的频率范围为92-94GHz频段。当前该规定中尚未规定79-81GHz频段的划分信息。

中华人民共和国无线电频率划分				国际电联 3 区无线电频率划分
中 国 内 地	中 国 香 港	中 国 澳 门		
76—77.5 无线电定位 射电天文 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）]	76—77.5 无线电定位 [业余] [卫星业余]	76—77.5 无线电定位 射电天文 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）]	76—77.5 无线电定位 射电天文 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）]	
5.149			5.149	
77.5—78 业余 卫星业余 无线电定位 5.559B [射电天文] [空间研究（空对地）]	77.5—78 业余 卫星业余 无线电定位	77.5—78 业余 卫星业余 无线电定位 [射电天文] [空间研究（空对地）]	77.5—78 业余 卫星业余 无线电定位 5.559B [射电天文] [空间研究（空对地）]	
5.149			5.149	
78—79 无线电定位 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）] [射电天文]	78—81 无线电定位 [业余] [卫星业余]	78—79 无线电定位 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）] [射电天文]	78—79 无线电定位 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）] [射电天文]	
5.149 5.560			5.149 5.560	

中华人民共和国无线电频率划分				国际电联 3 区无线电频率划分
中 国 内 地	中 国 香 港	中 国 澳 门		
79—81 无线电定位 CHN48 射电天文 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）]		79—81 无线电定位 射电天文 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）]	79—81 无线电定位 射电天文 [业余] [卫星业余] [空间研究（空对地）]	
5.149			5.149	

图3 76-81GHz无线电频率划分表

2.3. 小结

目前，全球主要地区已为汽车雷达分配了76-81GHz的频谱，包括欧盟、美国、日本、韩国等在内的世界主要汽车生产消费国家和地区均已将76-81GHz用于汽车雷达。与此不同，当前国内汽车雷达可用频率为76-79GHz，存在一定的差距。2021年国内《汽车雷达无线电管理暂行规定》生效后至今的几年中，国内汽车雷达及智能辅助驾驶或自动驾驶业务飞速发展，对更复杂天气环境、道路环境下辅助驾驶或自动驾驶的要求。

因此，本报告将研究国内是否有必要对汽车雷达开放79-81GHz频谱，从而使得整个76-81GHz可用于汽车雷达，使得国内汽车雷达频谱与全球划分保持协调一致，并进一步提升当前辅助驾驶和自动驾驶中的感知准确性和驾驶安全性。

表2 国内外频谱法规要求

国家	频段	法规和行业标准
欧盟	76 – 77 GHz	ERC Rec 70-03 EN 301 091-1
	77 – 81 GHz	ECC DEC(04)03
日本	76 – 77 GHz	ARIB STD-T48 2.1
	77 – 81 GHz	ARIB STD-T111
韩国	76 – 77 GHz	(MSIT Notice #2019-74), 9., effective as of Aug 30, 2019
	77 – 81 GHz	
巴西	76 – 81 GHz	Anatel act 4776
美国	76 – 81 GHz	FCC 15-16 FCC freq table FCC 47.I.D.95.M
加拿大	76 – 81 GHz	ISED RSS-251 issue 2
中国	76-79GHz	工信部181号文《汽车雷达无线电管理暂行规定》

3. 76-81GHz 频谱行业需求分析

3.1. 当前 76-79GHz 车载业务的局限性

当前76-79GHz频段在支持智能网联汽车发展方面已显现出多方面的局限性，主要体现在以下三个方面：

1) 带宽受限，难以满足新增智驾场景应用需求

随着智能驾驶技术从L2级向L3/L4级演进，尤其对恶劣天气等设计运行条件的要求增加，智能驾驶系统对毫米波雷达性能的要求进一步提升。当前76-77GHz和77-79GHz频段的可用带宽合计为3GHz，已难以满足部分高精度感知需求。

自动泊车（AVP）与高分辨率停车感应：在极窄车位下进行自动泊车时，需要将距离误差控制在3厘米以内。尤其存在大小目标时，3GHz及以下的带宽导致距离分辨率和测距精度不足，无法有效区分距离极近的障碍物（如地下车库的柱子、停车桩），严重影响泊车成功率。

前车切入（Cut-in）与拥堵跟车辅助（TJA）：在高速或拥堵路况下，当相邻车道车辆突然切入（Cut-in）时，系统需具备精确的航向角（Heading Angle）识别能力，以确保及时、准确地执行避让或制动。这要求雷达具备至少4GHz的信号带宽，以实现厘米级的距离分辨率和测距精度。当前3GHz带宽限制了目标的精细分辨，增加了误触发或漏检的风险。

小目标与复杂场景探测：对于收费杆、行人、自行车、轮胎碎片、低矮路障等小目标或高反射率的复杂场景，现有带宽下的雷达性能不足，容易出现目标漏检、虚假目标（Ghost）和目标识别错误（如将路标误判为车辆）等问题。

2) 频段拥挤，抗干扰能力亟待提升

随着单车搭载的毫米波雷达数量增加（L2+/L3级自动驾驶普遍配备5个以上雷达），76-79GHz频段的资源日益紧张，单车上多雷达间干扰以及多车之间的干扰问题愈发严重。

当前干扰缓解手段主要依赖时间错开、频率错开以及多普勒分错开等技术。其中，跳频是缓解雷达间干扰的常用手段。76-79GHz的3GHz带宽为雷达间干

扰缓解提供了非常有限的“跳频空间”。在多车密集场景下，难以有效避免相互干扰，系统可靠性下降。

3) 国际标准不统一，企业出海成本高昂

中国当前将汽车雷达频段规划为76-79GHz，而全球主要汽车生产国（如美国、欧盟、日本、韩国等）已将76-81GHz整体划分为汽车雷达频段。同时国内外对雷达射频信号的发射参数要求存在差异。这种国内外法规要求的差异性导致国内企业在面对国内、海外市场时面临严峻挑战。

产品平台化困难：雷达厂商必须为国内市场开发76-79GHz版本，为海外市场开发76-81GHz版本。这不仅增加了研发和生产成本，也延长了产品上市周期。

产品竞争力下降：难以实现全球统一的车规级产品平台，削弱了中国雷达及整车企业在国际市场的竞争能力，不利于“中国智造”出海。

3.2. 76-81GHz 频谱收益分析

3.2.1. 提升感知性能，满足高阶自动驾驶需求

开放79-81GHz频段，为汽车毫米波雷达提供更大带宽，是突破当前技术瓶颈、实现高阶自动驾驶的核心驱动力之一，具体体现在以下几个方面：

1) 实现厘米级超高分辨率与精度，奠定感知基础

为了实现高点云密度雷达，一方面，可以通过增加收发通道数量提高角度维度的探测和分辨能力；另一方面，需要更大的带宽支持距离维度的性能提升，因此大带宽是实现高性能、高点云密度毫米波雷达的必要条件之一。这能生成高密度、高精度的点云，精准还原物体的三维形态，为自动驾驶系统提供远超传统雷达的感知信息。

对于具有相同RCS的目标，不同带宽下的雷达理论距离分辨率列举如下，实际中相同带宽下两个目标能够被正确分辨的能力低于该理论值：

76-77GHz（带宽1GHz）：距离分辨率为15cm

77-79GHz（带宽2GHz）：距离分辨率为7.5cm

77-81GHz（带宽4GHz）：距离分辨率为3.75cm

可以看出，如果将汽车雷达频谱拓宽至76-81GHz，可以获得至少4GHz的

连续带宽，进而实现5cm以下的距离分辨率，并进一步提高毫米波雷达的点云密度，提高检测的置信度。

2) 满足高阶自动驾驶的核心场景需求

79-81GHz频段的开放，将直接赋能一系列高阶自动驾驶功能的落地：

自动泊车（AVP）：在地下车库等强反射目标密集的环境中，稀疏阵列天线仅靠角度分辨难以区分相邻障碍物。如果提高毫米波雷达的信号带宽，则在进行角度估计前，可以通过高距离分辨率先在“距离维度”上将反射目标进行区分，大幅减少单个距离单元内的相互干扰，从而显著提升后续角度分辨的精度，为自动泊车提供可靠保障。

紧急切入（CUT IN）与拥堵跟车辅助（TJA）：当存在前车切入场景时，通过大带宽雷达获取在距离维度上获取更多点云信息、以及更精确的点云测距信息，可以更准确地估计切入车辆的朝向角度，从而更准确地判断前方切入车辆的状态、预测前方车辆的轨迹，实现更准确和更及时的避让决策，避免因误触发造成的紧急刹车或车道偏离。

行人与弱势道路使用者（VRU）检测：在城区等复杂交通环境中，大带宽雷达有利于精确区分行人、自行车、路障、交通锥、交通标志等小型或紧密排列的目标，显著降低误判和漏检风险，尤其在“鬼探头”等高危场景下，能够为感知系统提供更精确的决策依据。

另外，窄带雷达在应对“虚假目标”（如Grating Ghost、Mirror Ghost）、“目标漏检”（如弱反射目标、低速目标）和“目标错检”（如将路沿误判为车辆）等问题时能力不足。大带宽雷达可更有效抑制上述现象，提升系统整体的鲁棒性。

3) 促进雷达技术演进

当前主流雷达已是4T4R，正在研发8T8R，16T16R也在规划，后续随着半导体技术发展，更多通道的雷达芯片会带来更清晰的点云成像，必然会用到更复杂的波形设计，如步进跳频和随机跳频、快速扫频、更多的chirp数目等，必然需要更大的带宽，这些都需要尽快释放79-81GHz频段，对新技术的创新和应

用起到平台支撑作用，有利于国内汽车雷达和自动驾驶的全球竞争力和未来发展。

3.2.2. 有效缓解雷达间干扰问题

随着智能网联汽车的普及，单车搭载的毫米波雷达数量显著增加，L2+/L3级自动驾驶车型普遍配置5个以上雷达（前雷达、角雷达、后雷达等）。在高密度交通场景下，大量车载雷达同时工作，导致76-79GHz频段的电磁环境日益复杂，雷达间相互干扰的问题已成为制约系统可靠性的关键瓶颈之一。

1) 开放79-81GHz频段，从而获得76-81GHz频段内共5GHz频谱资源，为跳频提供了充足的空间

带宽由3GHz提升到5GHz，频谱资源提升了66.7%。例如不考虑其他分址方式，假设规定每个雷达使用1.6 GHz带宽，不同雷达间频段重叠率不超过50%。

意味着在理想情况下，两个雷达实际占用的“净”频率资源是 $1.6 \text{ GHz} + 1.6 \text{ GHz} \times 50\% = 2.4 \text{ GHz}$ 。

则不同带宽可容纳雷达数量如下：

$$3\text{GHz} / 2.4\text{GHz} * 2 = 2.5$$

$$5\text{GHz} / 2.4\text{GHz} * 2 \approx 4.1667$$

（实际情况结合其他分址或抗干扰方式，同一空间中可容纳数量远高于以上结果，该计算仅用于表示带宽的拓宽带来的用户量的提升）

5GHz的连续频段为主要基于调频连续波（FMCW）技术的雷达系统提供了丰富的跳频资源。雷达可以进行更复杂的频率规划，实现更高效的频率复用和隔离，显著降低多车间、多雷达间发生同频干扰的概率，保障了感知系统的持续稳定。

2) 支持先进调制技术：更宽的带宽是采用更高级调制技术的基石

以 FDMA + Compass干扰缓解方案为例，这是一种结合了频分多址（FDMA）和方位判断（Compass）的抗干扰方案，如下图所示，安装在车辆不同方位的雷达采用不同的频谱范围，导致被分配后的雷达距离测量能力依赖于充足的可用频谱。76-79GHz频段的3GHz带宽限制了FDMA的子频段划分数量或单个子频

带的带宽大小、以及不同方向上的频率覆盖范围，导致其抗干扰能力有限，或者限制不同方向上雷达可用带宽、进而影响雷达性能。开放更多频谱资源能充分发挥FDMA + Compass方案的潜力，通过更精细的频段划分和更灵活的动态调整，构建一个高可靠、高鲁棒的雷达感知网络。

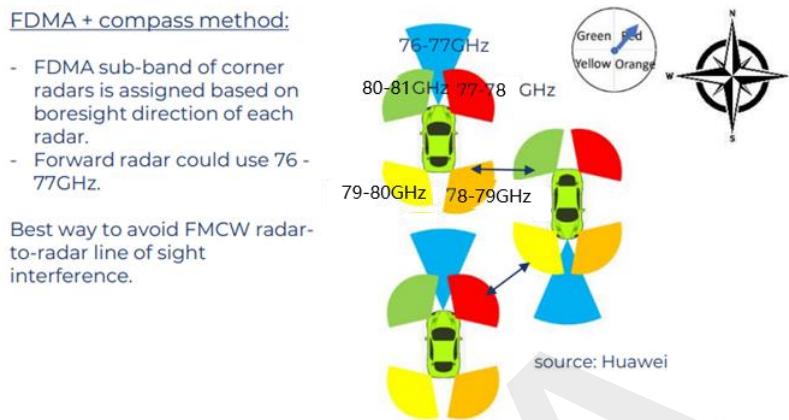


图 4 一种基于频分的干扰缓解方案

同时，开放76-81GHz带来更多的频率资源，对于未来新的调制技术如数字调制雷达新技术的发展具有促进作用。其中正交频分复用（OFDM）技术能够将信号能量分散到多个子载波上，实现信号的高效正交化，从而在物理层面上实现子载波的“信号隔离”。拓宽带宽可以提供更多的子载波容量，为未来的OFDM雷达信号设计、码间干扰缓解方案提供更大潜力。

3.2.3. 便于开拓海外市场

将79-81GHz频段开放给汽车雷达使用，是推动中国智能网联汽车产业实现全球化发展的关键一步，其核心价值在于推动技术标准与国际接轨，构建全球统一的产业生态。

1) 实现技术标准全球统一，避免“技术孤岛”

当前，全球主要汽车生产与消费国家和地区，包括美国、欧盟、日本、韩国、加拿大、澳大利亚、巴西、南非、沙特阿拉伯、阿联酋等，已将76-81GHz频段整体划分为汽车雷达的全球协调一致使用频段。这导致国内技术标准与国际主流存在显著差异。

避免技术滞后：若国内长期限制79-81GHz，将严重制约国产毫米波雷达的全球化研发与产业化。国际主流厂商正基于4~5GHz连续带宽进行产品布局而国

内企业受限于3GHz带宽，不但雷达本身难以在性能上与国际竞品抗衡，同时智驾控制器也同样会受到雷达性能局限导致功能表现不一致，最终将导致中国在下一代智能驾驶核心技术上形成“代际差距”。

保障高端车型竞争力：高端智能电动汽车的核心竞争力越来越体现在其感知系统的先进性。若国产高端车型的雷达技术无法与国际主流标准对齐，将直接影响其在国际市场上的品牌形象和市场接受度。

2) 降低全球化成本，提升产业整体竞争力

实现“一芯多用”与“一模多国”：全球频段统一意味着企业可以开发一套通用的硬件平台。国内雷达芯片、模组及整车企业无需再为国内外市场分别设计、生产和测试两种版本的产品，极大降低“双版本”带来的研发、生产与库存成本。

规模效应摊薄成本：全球统一的市场需求将极大提升芯片、天线等核心部件的出货量，从而摊薄流片、封装、测试等环节的成本，实现“成本效益高的解决方案”。

加速产品上市周期：统一的法规标准简化了产品认证流程，企业可以更快地将新产品推向全球市场。

3) 顺应全球贸易趋势，把握“出海”机遇

2024年，中国汽车商品（不含动力电池）出口金额高达2108亿美元，同比增长11.4%，占中国总出口金额的5.9%。这标志着中国汽车产业已进入全球化的快车道。

满足全球协调需求：将79-81GHz开放，能确保中国整车和零部件企业的产品在法规层面与海外市场的需求完全一致，满足出海企业“标准法规全球协调”的迫切需求。

增强国际竞争力：统一的频段是参与全球竞争的“通行证”。这将使中国车载雷达产品能够更顺畅地进入欧、美、日、韩等主流市场，助力中国智能网联汽车产业在全球市场中占据有利地位。

3.3. 小结

当前76-79GHz频段在带宽、抗干扰和国际兼容性方面已形成瓶颈，制约了毫米波雷达在高阶智能驾驶领域的发展。而79-81GHz频段的开放，不仅能够提供4~5GHz连续带宽以实现厘米级高分辨率和4D成像，有效解决雷达间干扰难题，更能促进国内产业与国际接轨，降低全球化成本，是推动我国智能驾驶技术快速发展的关键一步。

4. 76-81GHz 产业现状及技术成熟度

4.1. 汽车雷达芯片

国外汽车雷达芯片厂商，包括TI、NXP、英飞凌等厂商的主流产品均支持76-81GHz全频段。NXP所有雷达芯片均基于RFCMOS制程且支持76-81GHz全带宽，涵盖高性能雷达收发器、雷达处理器、单芯片雷达SoC，适用于传统角雷达、前向雷达及4D成像雷达的应用，提供了包括自动紧急制动、自适应巡航控制、盲点监测、交叉交通警报和自动泊车在内的关键安全应用和可靠保障。TI的车载雷达芯片均支持76-81GHz内灵活配置，最大可支持5GHz带宽。英飞凌最新的CTRX81xx 76-81GHz汽车雷达芯片采用28nm CMOS工艺，具有优异的信噪比，单晶圆8T8R可实现超长距检测和丰富点云，可灵活应用于边缘计算雷达和中央计算式雷达，适配中央计算+区域控制架构。

随着国内车载雷达频率从24GHz向77GHz演进，国内雷达芯片厂商已在76-81GHz全带宽下进行产品布局或已产品量产。加特兰、圭步微、岸达科技、迈矽科、豪感科技等均已发布或量产了76-81GHz全带宽雷达芯片。其中加特兰昆仑6T6R芯片具备纯国产能力，整个供应链从IP、研发、到生产均为中国大陆自主可控，芯片明年可量产；圭步微电子也已发布了第二代盘古系列8T8R 4D 成像毫米波雷达芯片，具备国产化能力；岸达科技的ADT3102 CMOS工艺2T2R雷达SoC芯片支持级联模式，ADT2011/2012可配置为8T8R、16Tx、16Rx三种工作模式；豪感科技8T8R MMIC芯片MVRA188已于今年2月份回片测试成功。国内芯片公司在芯片设计、流片、封装、系统集成等方面能力不断提升。圭步微在76-81GHz芯片设计与流片突破，已发布高性能76GHz毫米波芯片及模组，

首次利用自研的LOP技术实现单颗8发8收芯片，探测距离大于400米，刷新全球纪录。在封装与系统集成能力也逐渐成熟，采用LOP封装，缩短射频路径，提升集成度，改善热管理。

表3 国内外76-81GHz芯片厂商及产品情况

芯片公司	产品型号	工作频率	天线数量	备注
TI	AWR2944	76-81 GHz	4T4R	符合 AEC-Q100 标准 满足ISO 26262 认证 ASIL B 等级
	AWRL2943	76-81 GHz	3T4R	同上
Infineon	CTRX8191	76-81 GHz	4T4R	同上
NXP	SAF86XX	76-81 GHz	4T4R	同上
加特兰	CAL77S344-AE	76-81 GHz	4T4R	同上
圭步微	ARCO7088	76-81GHz	8T8R	同上
岸达科技	ADT3102	76-81 GHz	2T2R	通过AEC-Q100认证
矽杰微电子	SRV3401	77GHz	3T4R	通过AEC-Q100认证
迈矽科	MSTR001/MSTR002	76~81GHz	3T4R	
北京斯凯瑞利	RC7711C	75-82GHz	4T4R	车规级 AEC-Q100 grade2
	RC8088	76-81GHz	8T8R	ASIL B功能安全
毫感科技	MVRA188	76-81GHz	8T8R	2025.2.10回片测试成功
润积电	RF77TR34	76~81GHz	3T4R	
晟德微	Kestrel342	76-81GHz	3T4R	基于GF 130nm SiGe BiCMOS 工艺，符合AEC-Q100 Grade 1
	Cheetah441/881	76-81GHz	4T4R 8T8R	基于GF 40nm CMOS 工艺，根据 AEC-Q100 Grade 1 和 ISO26262 ASIL-B标准设计

4.2. 波导天线

微带天线在传统24GHz和77GHz车载毫米波雷达中普遍采用，具有设计灵活、加工简单、低成本、低剖面的优点，但在77GHz高频时的损耗较大。波导天线具备低损耗、设计紧凑等优势，且天线阵列可以在X-Y-Z三个方向展开，有助于实现毫米波雷达的小型化、高性能、差异化发展，是微带天线的有效替代方案，逐步成为大带宽雷达尤其4D雷达的主流天线形式。

近年来，全球波导天线市场布局企业不断增加，瑞士HUBER+SUHNER 是3D 波导金属化塑料天线的领先供应商，2022年宣布向大陆供应其量产天线，目前已经开发并生产了第二代 3D 金属化塑料波导天线，涵盖整个76-81GHz汽车雷达频段。另外Gapwaves盖普威公司的波导天线技术已集成海拉的77GHz雷达传感器，并集成到新的梅赛德斯-奔驰CLA中。

目前国内硕贝德、威浪达科技有限公司、领瞳科技（上海）有限公司、苏州博迅通信技术有限公司等也已具备大带宽波导天线量产能力。其中硕贝德4D 毫米波雷达波导天线已实现批量出货，预计年内向国内头部客户交付超百万只产品。领瞳科技首创了准空气集成波导（AIW）天线技术，已具备准空气集成波导天线设计、仿真、验证到量产供货的全周期能力。

表4 国内外波导天线主要厂商及产品

公司名称	产品信息	覆盖频段
HUBER+SUHNER	第二代 3D 金属化塑料波导天线，提供 4TX/4RX 配置通道，可覆盖整个汽车雷达频段。仰角 10dB 功率增益、20° 波束宽度；方位角 10dB 功率增益、140° 波束宽度（每通道）	76-81GHz
Gapwaves	波导天线可覆盖 76-81GHz 全频段和 140GHz，可支持 SRR、MRR 以及 4D 成像雷达	76-81GHz
硕贝德	4D 毫米波雷达波导天线，目前已向国内厂商出货量约 300 万 PCS	76-81GHz
威浪达	毫米波雷达3D波导天线（单层天线、多层天线）	76-81GHz

4.3. 大带宽雷达产品

国外允许汽车雷达将76-81GHz频谱用于汽车雷达，其中欧洲76-77GHz频段主要用于长距雷达，77-81GHz频段主要用于短距雷达。大陆、博世、安波福等都有3GHz以上大带宽雷达产品布局，可以获得更高的检测性能。其中大陆SRR600是新一代76-81GHz SRR产品，主要为拐角定位应用（包括NCAP支持）提供高性能。其超小封装易于集成，在各种涂漆保险杠后均能稳定运行，可用作智能和卫星雷达，并支持灵活的通信接口，支持各种车辆架构。产品系列涵盖从以新车评估评估为重点的入门级产品（含SRR620）到同类最佳高端产品（含SRR630）的各种产品。安波福第七代4D毫米波角雷达，采用空气波导天

线，具备4GHz带宽模式实现短距离极高精度。海拉已经在多个项目上量产77GHz雷达，目前已经出货超200万台，产品在硬件上可支持76-81GHz。

随着2021年国内汽车雷达频率的开发，近几年国内毫米波雷达厂商取得了显著的成长，包括德赛西威、引望、承泰科技、森思泰克、楚航、华域电子等已在汽车雷达领域实现77GHz毫米波雷达量产。受国内法规影响，国内雷达厂商的产品主要工作在76-79GHz。其中，承泰科技的成像前雷达CTLRR-520、长距雷达CTLRR-220Pro/CTLRR-220 Plus，中距雷达CTMRR-130、短距雷达CTDSR-460等均工作在76-79GHz；引望的近距雷达SRR、中远距雷达MRR以及分布式雷达均已实现量产和上车，工作频率为76-79GHz；森思泰克高分辨率远程雷达STA77-5工作在76-77GHz，近程雷达STA79-1可工作在77-81GHz；楚航的前向雷达、角雷达工作频率主要为76-77GHz。随着毫米波雷达天线包括波导天线等技术的成熟，低成本的大带宽毫米波雷达产品成为发展趋势。

国内厂商虽然产品主要集中在76-79GHz，但国内厂商已具备大带宽雷达设计和生产能力：

A. 大带宽产品硬件设计能力：

国内已有雷达厂商采用波导天线方案，实现 76 - 81 GHz 全频段覆盖的宽带工作。典型公开指标如下：

S 参数：在 75.5 - 81.5 GHz 频段内， $S11 < -30$ dB。

方向图：在 75.5 - 81.5 GHz 频段内保持稳定，主瓣指向及旁瓣结构无明显差异。

传统 PCB 天线的典型有效带宽约为 2 GHz，在该带宽内一般将 S11 参数控制在 < -15 dB；但其方向图主瓣指向随频率变化易产生偏转，难以在更宽频段内保持波束一致性。

B. 同频干扰解决能力：

在 76 - 79 GHz 毫米波雷达应用中，行业内已有厂商部署同频干扰抑制算法，以降低交雷导致的虚警与漏检，提升在密集场景下的稳定性。

依托 76 - 81 GHz 的宽带资源，行业内方案通过子带化与波形敏捷实现对同

频干扰的韧性规避：对受扰子带实施留白或降权，保留未受扰带宽继续成像与检测；在检测到干扰时，快速重构起始频点、扫频斜率与步进，或采用多子带交替发射以降低频谱重叠；对局部缺失的数据通过零填充与窗函数补偿、稀疏重构或多子带拼接等方式恢复等效带宽，保持分辨率/精度与 SNR 在可控范围内；并在跨子带开展一致性检验与多样性融合，配合自适应 AGC 与抗饱和设计，抑制强干扰导致的通道饱和与虚警上升。该路径以宽带条件下的信号层识别、频域调度与稳健重构为核心，相较窄带方案在同频或近同频干扰场景中具备更强的鲁棒性。

4.4. 小结

综合76-81GHz产业链各环节发展现状来看，该频段技术已具备较高的成熟度，尤其国内产业链逐渐成熟并实现量产。

1) 在核心芯片方面，国际厂商TI、NXP、英飞凌已形成完整的车规级产品矩阵，技术路径成熟且通过功能安全认证。国内以加特兰、圭步微、岸达科技为代表的企业已实现76-81GHz全带宽芯片从设计到量产的全链条突破，加特兰昆仑6T6R芯片实现纯国产供应链自主可控，圭步微8T8R芯片刷新探测距离纪录，标志着国产芯片在集成度与性能上已追平国际主流水平。当前国内厂商普遍具备AEC-Q100认证能力，并在4D成像架构、级联方案等前沿方向形成差异化竞争力。

2) 在天线技术路线方面，波导天线因其低损耗、高集成度的特性，正加速替代传统微带天线成为4D雷达标配。瑞士HUBER+SUNER等国际企业已实现金属化塑料波导天线量产供货，而国内硕贝德等厂商也已突破量产瓶颈。76-81GHz波导天线技术的成熟为76-81GHz全频段性能释放提供了物理层保障。

3) 在产品化能力方面，尽管国内现行法规将车载雷达限制在79GHz以下，但产业链已实质具备76-81GHz全频段硬件设计与生产能力。以承泰科技、德赛西威、引望、楚航、森思泰克等为代表的雷达厂商通过波导天线与先进算法组合，已验证77-81 GHz短距模式的技术可行性。

4) 在产业成熟度评估方面：当前制约国内大带宽雷达规模商用的主要因素

为频谱政策而非技术能力。若开放79–81 GHz频段配合跳频等抗干扰技术升级，可立即释放4 GHz/5GHz带宽潜力，使角雷达分辨率提升至国际领先水平。

5. 总结及建议

根据2021年《车载雷达无线电管理暂行规定》，我国车载雷达当前使用的频段为76-79GHz，而国际上普遍采用的是76-81GHz频段。国内外频谱资源的不统一，导致芯片与雷达厂商在面向全球市场时难以实现产品平台化设计，增加了研发与生产成本。此外，随着智能网联汽车的快速发展，国内汽车雷达在79 – 81GHz范围内缺少2GHz的频率资源，一定程度上限制了泊车辅助、行车辅助等功能的性能提升。同时，随着汽车雷达装配率的不断提高，若能将国内汽车雷达频谱从76-79GHz扩展至76-81GHz，不仅可为智能网联汽车雷达提供更充足的频率资源，也有助于降低雷达之间的相互干扰概率。

当前，国内汽车雷达产业已经逐步完成了从24GHz向77GHz演进。以加特兰、圭步微等为代表的国内芯片企业，已发布或量产支持76-81GHz全带宽的雷达芯片；天线厂商如硕贝德等，也已实现4D毫米波雷达波导天线的批量出货。国内多数头部雷达企业已具备大带宽雷达的研发与集成能力，一旦法规放开，可迅速实现相关产品的商业化应用。

为此，建议将79-81GHz频段向汽车雷达开放，使国内汽车雷达频谱扩展至76-81GHz，以提升驾驶辅助系统性能、缓解干扰问题，并降低企业面向海外市场的适配成本。下一步，应结合智能驾驶发展需求，深入开展频谱扩展的必要性研究、业务兼容性分析，以及雷达功率限制等关键要求的论证工作，为频谱政策的优化提供科学支撑。